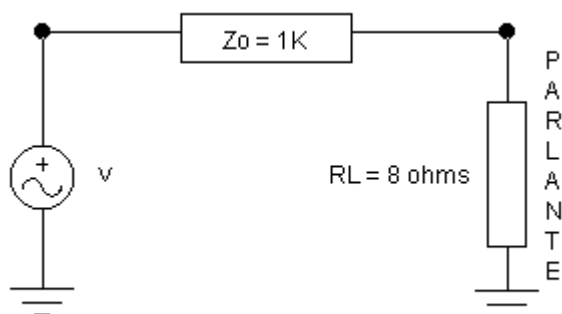


Amplificadores de potencia para audio V1.0

En el apunte el TBJ como amplificador de pequeña señal hemos visto como amplificar señales de bajo nivel, convirtiéndolas en señales de algunos volts sobre la carga, mediante el empleo de cascadas de monoetapas constituyendo lo que llamamos multietapas (Ej: $v_i=10$ mV con $AV=300$ $v_o=3$ v). Para obtener una potencia importante sobre una carga externa (Ej: parlante) sería necesario que la señal de salida del amplificador pueda entregar dicha potencia.

Si a los circuitos vistos en el apunte mencionado le aplicáramos como carga un parlante, estaríamos condenados al fracaso de obtener potencia, pues estos amplificadores presentan impedancias de salida (Z_o) elevadas comparadas con la impedancia de un parlante (2 - 4 - 8 - 16 - 32 ohms).

Ejemplo:

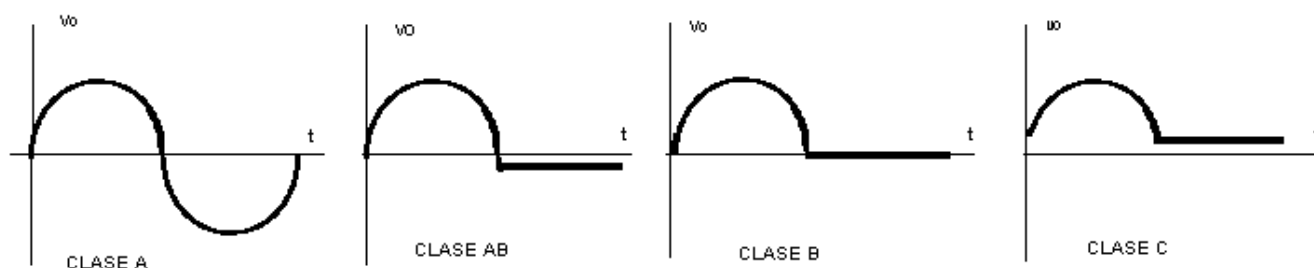


Se observa que en este caso toda la tensión V cae en la $Z_o = 1K$ y casi nada sobre el parlante de 8 ohms, lo cual implica que no podremos obtener una potencia importante sobre el parlante.

Llegamos fácilmente a la conclusión que las etapas de salida de un amplificador real deben estar diseñadas con el objetivo de ganar corriente mas que tensión y las etapas de entrada ganar tensión mas que corriente.

Las etapas de salida de los amplificadores se llaman comúnmente amplificadores de potencia o etapas de potencia y se dividen o clasifican en cuatro grupos o clases A, B, AB, y C, dependiendo de la forma de la señal de salida, a partir de una entrada senoidal.

En la siguiente figura aclaramos el concepto.



Rendimiento de una etapa de potencia

Se define en forma general el rendimiento de una etapa de potencia como el cociente entre la potencia máxima de corriente alterna disipada en la carga y la potencia total consumida por el amplificador en corriente continua.

$$\text{Rendimiento } (\eta) = \frac{P_{Lmax}}{P_{cc}} * 100\%$$

P_{Lmax} : potencia máxima de CC disipada en la carga.

P_{cc} : potencia total consumida por el amplificador en CC.

Si definimos P_L : potencia de CA disipada en la carga. Es:

$$P_L = \frac{V_{LEF}^2}{R_L}$$

$$\text{Donde } V_{EF} = \frac{V_P}{\sqrt{2}} = \frac{V_{PP}}{2 * \sqrt{2}}$$

$$V_{EF} = \sqrt{\frac{V_{PP}^2}{2}} = \frac{V_{PP}}{\sqrt{2}}$$

así

$$P_L = \frac{V_{Lpp}^2}{8 \cdot R_L}$$

Luego

$$P_{Lmax} = \frac{V_{Lppmax}^2}{8 \cdot R_L}$$

Donde V_{Lpp} es la máxima tensión pico a pico obtenida en la carga.

A P_{cc} la analizaremos luego para cada clase de amplificador.

Comparación de características de amplificadores de potencia según la clase

El amplificador clase A ofrece como ventaja que la señal de salida no aparece distorsionada y como principal inconveniente que su rendimiento máximo es de un 25% y de 50% cuando la carga esta acoplada por transformador (el transformador que se menciona tiene como objetivo adaptar impedancias de modo que el amplificador vea una carga mayor a la del parlante, esto fue muy utilizado en los viejos amplificadores, presentaba inconvenientes en bajas frecuencias).

Cuando se emplea un amplificador clase B, se obtiene la salida fuertemente distorsionada, convirtiéndose en su principal inconveniente, ya que se hace necesario disponer un circuito doble, uno para los semiciclos positivos y otro para los semiciclos negativos, la ventaja que presenta es que el rendimiento que se obtiene es del 70% al 75%.

La disposición clase AB se emplea para salvar los inconvenientes que presentan los amplificadores clase B (ej: distorsión por cruce), logrando rendimientos cercanos a estos.

La disposición clase C presentan excelentes rendimientos y debido a su señal de salida, como tales amplificadores de potencia, se emplean en RF, y también en circuitos recortadores de impulso o niveles, cuando interesan solamente señales que superan un determinado nivel.

CONCLUSIONES

Un amplificador de potencia es aquel que recibiendo una señal de amplitud de tensión suficiente, le aplica una elevada ganancia de corriente, capaz de gobernar cargas de baja impedancia (ej: parlantes de 2-4-8 ohms).

Los amplificadores de potencia clase A ofrecen un bajo rendimiento, sin embargo, son muy útiles por su sencillez para determinadas aplicaciones. Los amplificadores vistos en el apunte "El TBJ como amplificador de pequeña señal" corresponden a clase A, si bien los mismos no son utilizados como amplificadores de potencia sino como etapas preamplificadoras o para adaptación de impedancias. Los mismos no ganan corriente, pero si ganan tensión.

Los amplificadores clase B tienen rendimientos elevados, pero necesitan dos transistores para ofrecer una señal de salida igual a la de la entrada.

Los amplificadores clase C no encuentran aplicación en baja frecuencia BF.

AMPLIFICADORES DE POTENCIA CLASE A

Estos presentan una señal copia de la entrada pero amplificada y sin distorsión. La máxima señal de salida se obtendrá cuando el punto de trabajo Q (ICQ , $VCEQ$) coincida con el centro de la recta de carga (MES: máxima excursión simétrica), obteniendo por lo tanto máxima potencia de salida.

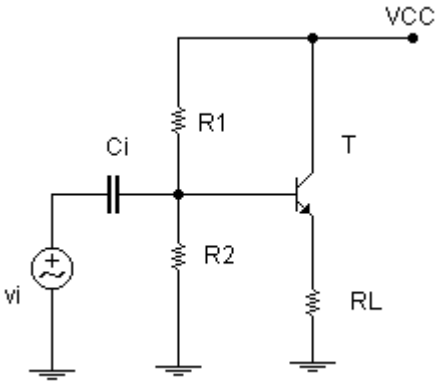
Hay 2 casos en cuanto a conexión de la carga R_L :

RL externa al circuito (recta de carga estática CC y dinámica CA no coinciden).

RL sea la propia carga del transistor (recta de carga estática CC y dinámica CA coinciden).

A pesar de escasa utilización, cuando se emplean se prefiere la última, analizaremos este caso: (ver figura)

La máxima ganancia se obtendrá cuando el punto Q se sitúe en el centro de la recta de carga. Calcularemos el rendimiento del circuito. Despreciando la corriente consumida por el divisor R1 R2 tendremos que:



$$V_{CEQ} = \frac{V_{CC}}{2} = V_{RL}$$

Por lo tanto la PCC será

$$P_{CC} = V_{CC} \cdot I_C = V_{CC} \cdot \frac{V_{CC} - V_{CEQ}}{R_L} =$$

$$= V_{CC} \cdot \frac{V_{CC} - V_{CC}/2}{R_L} =$$

$$= V_{CC} \cdot \frac{V_{CC}/2}{R_L} = \frac{V_{CC}^2}{2 \cdot R_L} \rightarrow$$

$$P_{CC} = \frac{V_{CC}^2}{2 \cdot R_L}$$

Potencia máxima consumida por el amplificador en continua.

Esta será la potencia media absorbida por el circuito en todo momento de la fuente de alimentación, ya que un desplazamiento del punto Q provocado por una señal senoidal da un valor medio "0" de variación de IC.

Calcularemos ahora PLmax (potencia máxima de CA disipada en la carga).

Para su cálculo se necesita VEFL (tensión eficaz sobre la carga).

Si Vpico= VCC/2 (el máximo)

Como Vpico= SQR(2) * VEFL

Entonces:

$$VEFL = \frac{V_{CC}}{2 \cdot SQR(2)} \quad (1)$$

$$PL_{MAX} = \frac{VEFL^2}{R_L}$$

$$PL_{max} = \frac{V_{CC}^2}{8 \cdot R_L}$$

Potencia máxima de CA disipada en la carga (2)

Como dijimos el rendimiento se define como:

$$n = \frac{PL_{max}}{PCC} * 100 \%$$

Y recordando lo obtenido en (1) y (2)

$$n = 25 \%$$

El rendimiento de este amplificador clase A es 25%.

Se ha de tener en cuenta que este rendimiento es el máximo que puede obtenerse en un amplificador clase A, ya que si la señal de entrada disminuye entonces lo hace la tensión de salida y por lo tanto el rendimiento. Si no está convencido de la afirmación anterior, calcule el rendimiento con la siguiente fórmula asignando valores a V_{pico} y R_L (es la misma fórmula que utilizamos para el cálculo del rendimiento máximo n o η).

$$n = \frac{(V_{pico}/\sqrt{2})^2 / R_L}{VCC * (VCC - V_{pico}) / R_L}$$

Ej: $V_{pico} = 3V$ $VCC = 12V$ $R_L = 8 \text{ Ohms}$

$$n = 4,1 \%$$

Recuerde que el rendimiento significa cuanto obtuve sobre lo que tuve que aportar para ello. Un $n=25 \%$ implica que sobre el parlante solo se obtuvo 25% potencia, el 75% restante se consumió en calor sobre los demás componentes.

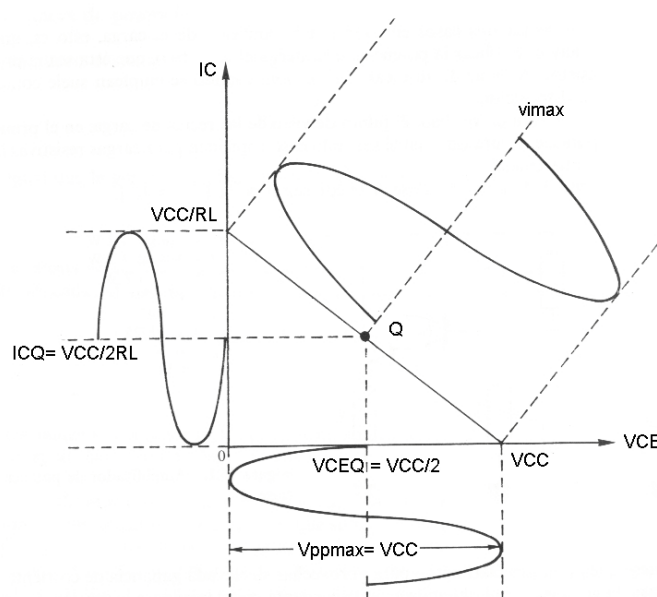
Es conveniente además, conocer la potencia que ha de disipar el transistor para no sobrepasar las especificaciones. En los amplificadores clase A la máxima disipación del transistor se produce en reposo, es decir cuando no está amplificando. Esto último se demuestra si tenemos en cuenta que:

$$P_{TBJ} = V_{CEQ} * I_{CQ}$$

Como V_{CEQ} se diseña a MES (máxima excursión simétrica)

$$V_{CEQ} = VCC/2$$

Cuando se está amplificando el punto Q se desplaza produciendo una disminución de tensión o corriente sobre el TBJ, disipando una potencia menor. Observar en la figura que cuando el transistor está amplificando este punto Q se desplazará hacia el corte o hacia la saturación.



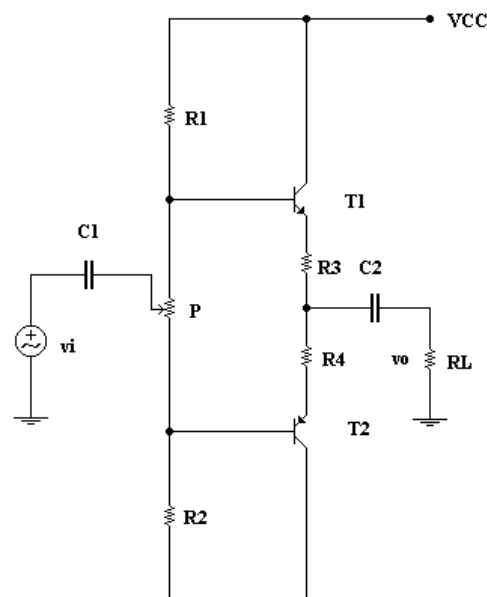
Recta de carga y punto Q en amplificadores clase A

AMPLIFICADORES DE POTENCIA CLASE B

Como ya se mencionó, se tienen que disponer de forma adecuada 2 TBJ, para que cada uno amplifique un semiciclo de la señal. La figura siguiente muestra esta disposición, llamada amplificador de SIMETRIA COMPLEMENTARIA o PUSH - PULL (ver figura).

Observar que T1 es NPN y T2 es PNP, son complementarios, presentan características iguales pero de signos opuestos. Se denominan par complementario o transistores complementarios.

Básicamente durante el semiciclo positivo conduce T1 estando T2 cortado, mientras que durante el semiciclo negativo T1 estará cortado y T2 conducirá.



La forma básica de alimentar el circuito sería disponiendo de una fuente simétrica, también llamada fuente doble o partida. Esta proporciona tensiones +VCC y -VCC conectando la masa o referencia de la fuente a un punto común con vi y RL. Debido a este inconveniente es más común el empleo de una sola fuente VCC haciendo C2 de fuente para T2, ya que cuando este transistor conduce queda aislado de VCC porque T1 permanece en corte. Usualmente para cumplir la función mencionada C2 debe ser de una capacidad elevada (Ej: 220 uf, 1000 uf, 2200 uf etc.).

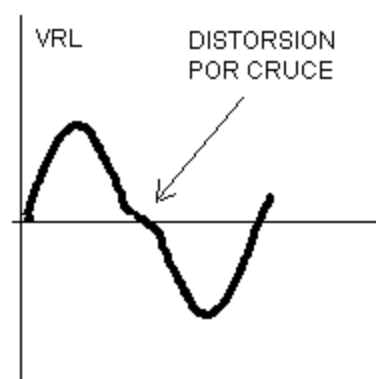
R1, P y R2 constituyen un divisor de tensión que logran que cada TBJ este en corte hasta que se aplique una señal vi (señal a amplificar), cuyos semiciclos positivo y negativo harán conducir T1 y T2 respectivamente, circulando por RL corriente durante todo el ciclo de vi.

El ajuste de P permite que la VCE de cada TBJ sea $VCC/2$, con lo que asegura igualdad de polarizaciones de ambos transistores. Si observamos con cuidado, T1 y T2 están configurados como colector común, por lo tanto la ganancia de tensión es aproximadamente **AV=1**, pero la ganancia de corriente es elevada.

La forma de onda en RL en la práctica no es una senoide perfecta si los transistores llegan al corte durante su operación, aparece una distorsión llamada DISTORSIÓN DE CRUCE y su nombre se debe a que se produce en el momento del cruce de la conducción de un transistor a otro (ver figura).

La solución es que los transistores no lleguen al corte, aumentando la tensión base emisor de los mismos mediante el ajuste del potenciómetro P, o sea VBE cercano a 0.7V con su signo en cada caso, (generalmente en lugar de un potenciómetro se coloca un preset, ya que son ajustes que se realizan en fábrica o en servicio técnico).

Estrictamente hablando con este cambio el amplificador ya no es clase B sino clase AB y la corriente que circula por los transistores sin señal vi ya no es cero, pero sí de pequeño valor.



Ejemplos prácticos:

A continuación se muestra simulaciones de un ejemplo, sin señal vi y con señal vi. Los transistores son del tipo TIP41 y TIP42, o sea de potencia, deben ir con disipador.

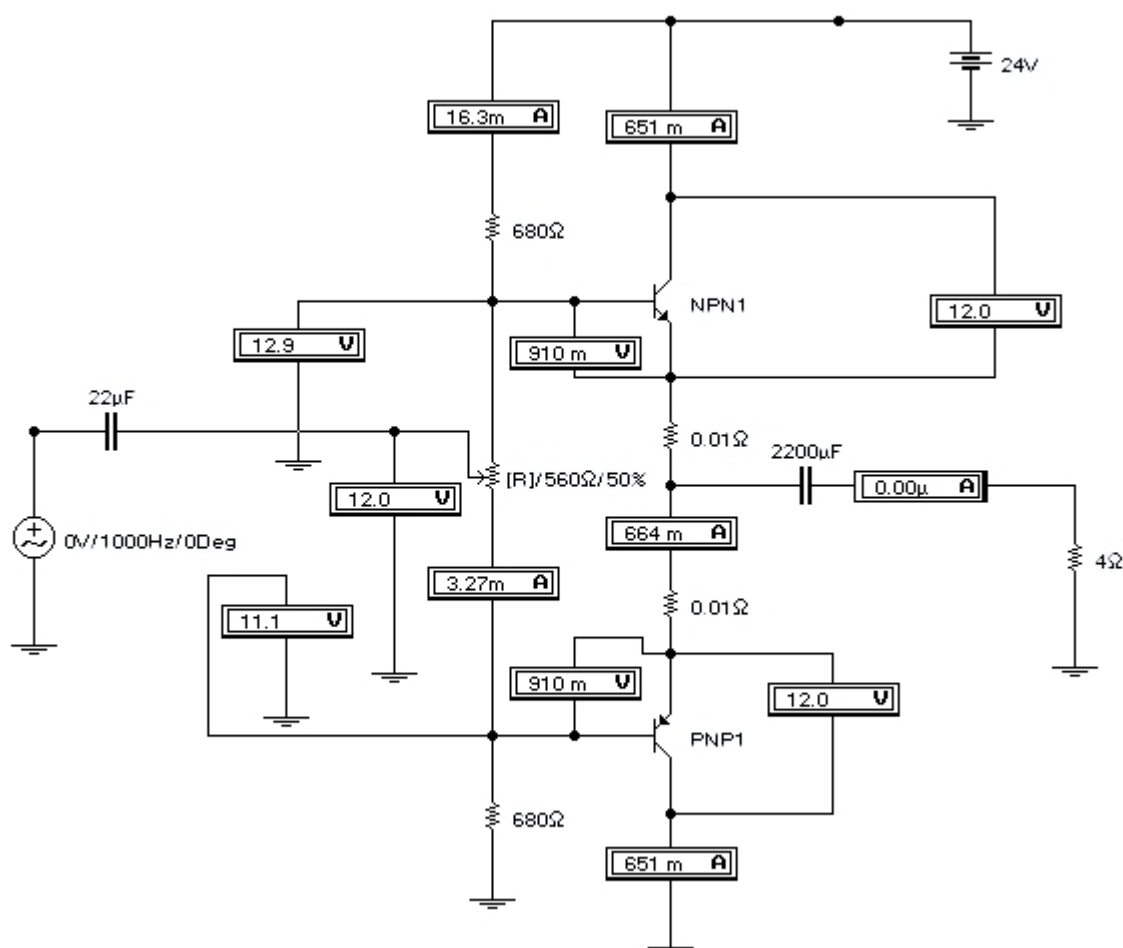
Las resistencias de 0.01 ohms son bobinadas y de cuerpo cerámico típicamente, y su misión es evitar el embalamiento de los transistores, si la corriente sube entonces sube la tensión sobre dichas resistencias, disminuye la tensión sobre los transistores bajando en consecuencia las corrientes.

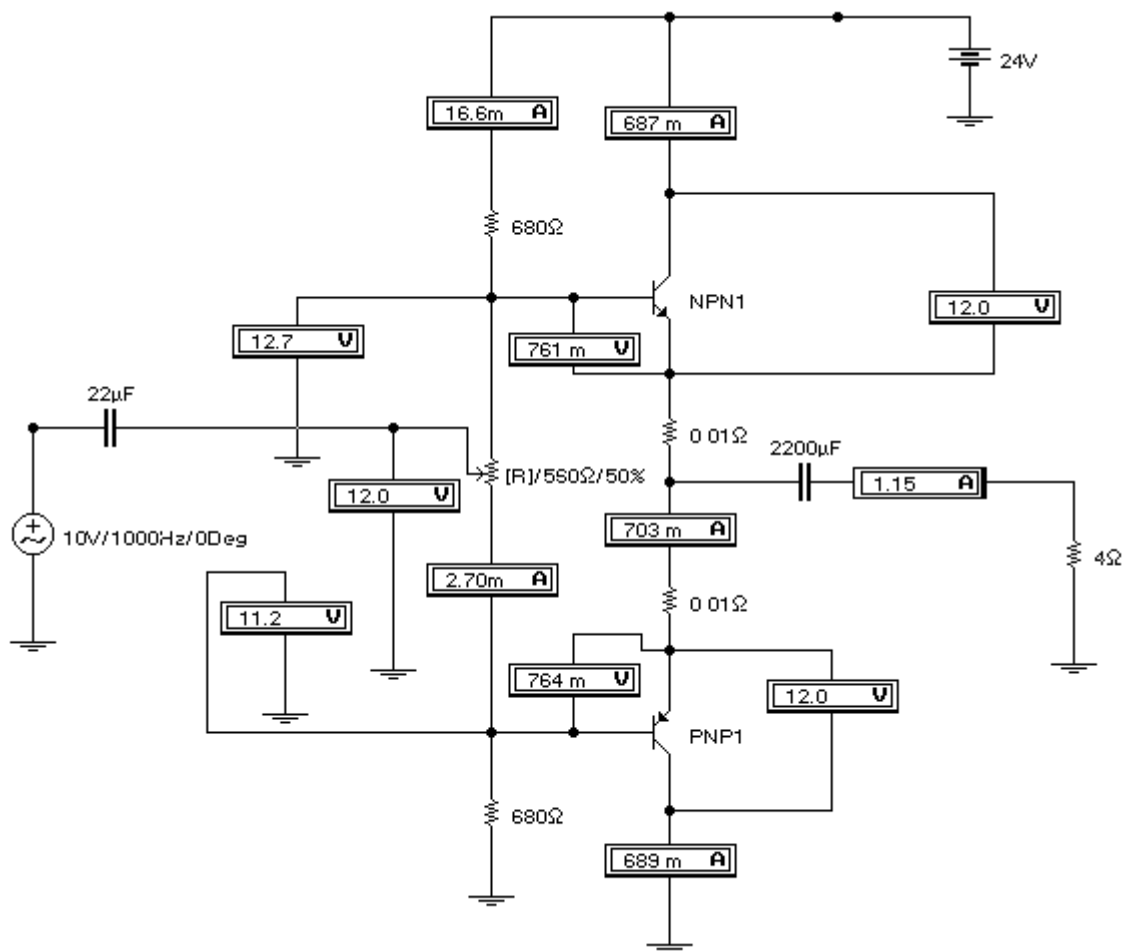
Todos los demás instrumentos están midiendo en CC salvo el amperímetro que se encuentra en serie con la carga.

Observando la primer figura se nota que la corriente eficaz sobre la carga $R_L = 4\text{ohms}$ es de 0 A, lo que implica que la potencia entregada a la carga (un parlante por ejemplo) 0 W, lo cual se debe a que la señal v_i inyectada al amplificador es nula.

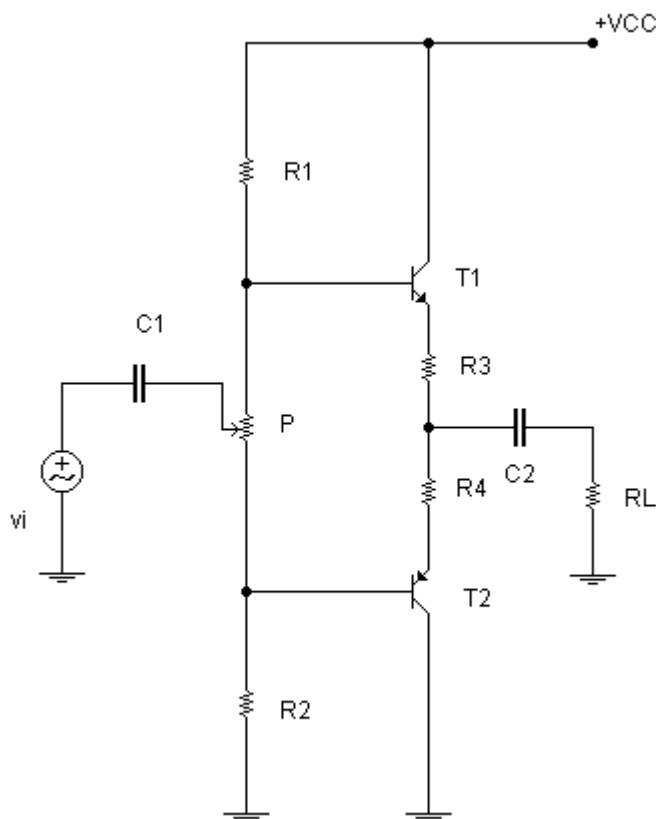
En la segunda figura la señal $v_i = 10\text{V}$, en este caso la corriente eficaz sobre la carga $R_L = 4\text{ohms}$ es de 1.15 A, lo que implica que la potencia entregada a la carga (un parlante por ejemplo) es de 5.3W.

También podemos notar que la tensión eficaz sobre la carga es menor a 10V, ($V_{\text{ofe}} = R_L \cdot I_L = 4.6\text{V}$), o sea es menor que la ingresada v_i , pero tengamos en cuenta que el objetivo de este tipo de amplificadores es ganar potencia.





Otro ejemplo:



Amplificador clase B

$R_1 = R_2 = 10K \quad 1/2W$
 $R_3 = R_4 = 1 \text{ ohm} \quad 1 W \text{ bobinada}$
 $R_L = 22 \text{ ohm} \quad 4 W$
 $C_1 = 22 \text{ uf} \quad 25 V$
 $C_2 = 1000 \text{ uf} \quad 25 V$
 $P = 2K2 \text{ ohms}$
 $T_1 = BD137$
 $T_2 = BD138$
 $VCC = 12V$
 V_i señal a amplificar.